

中国小麦白粉病发生地域分布的气候分区

霍治国¹, 陈 林¹, 刘万才², 薛昌颖¹, 赵圣菊¹, 庄立伟¹

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100026)

摘要: 根据全国 120 个气象站点小麦拔节~成熟期间的多年平均(1971~1998)旬 ≥ 0.1 mm 雨日出现机率、旬降雨量、旬平均相对湿度、旬平均温度、旬日照时数和白粉病病害资料, 采用系统聚类分析法将中国小麦白粉病发生地域分布划分为发生气候带(I)和不发生气候带(II)。I 又分为常发气候亚带(IA)、易发气候亚带(IB)、次易发气候亚带(IC)、偶发气候亚带(ID)。IA 分为冬小麦白粉病西南常发气候区(IA1)、冬小麦白粉病长江流域常发气候区(IA2)、冬小麦白粉病淮河流域常发气候区(IA3)共 3 个区; IB 为冬小麦白粉病黄河流域易发气候区(IB区)1 个区; IC 分为南方冬小麦白粉病次易发气候区(IC1)、北方春小麦白粉病次易发气候区(IC2)、北疆春小麦白粉病次易发气候区(IC3)、西藏南部冬春小麦白粉病次易发气候区(IC4)共 4 个区; ID 分为南方冬小麦白粉病偶发气候区(ID1)、北方春小麦白粉病偶发气候区(ID2)共 2 个区。评述了不同气候区小麦白粉病发生流行的气候生态特征。该分区结果客观揭示了小麦白粉病的发生地域分布规律, 是针对不同气候条件下进行小麦白粉病分区预测预报和综合防治的基础性工作。

关键词: 小麦白粉病; 地域分布; 气候分区; 中国; 聚类分析

Climatic Zonation of Wheat Powdery Mildew in China

HUO Zhi-Guo¹, CHEN Lin¹, LIU Wan-Cai², XUE Chang-Ying¹, ZHAO Sheng-Ju¹,

ZHUANG Li-Wei¹ (1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; 2. National Agricultural Technical Extension and Service Center, Beijing 100026, China) *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1873~1881.

Abstract: Based on the historical data of meteorology and disease during the wheat growing season, the zonation of wheat powdery mildew in China is conducted through the hierarchical clustering analysis. The results provide a scientific foundation for the regional prediction of wheat powdery mildew in practice and the synthetic prevention and treatment at different climatic conditions.

Using the long-term (1971~1998) meteorological data of 120 weather stations during the growing season when the powdery mildew occurs frequently, we calculate the following 12 meteorological indices during the periods of elongation-mature and tasseling-grouting respectively according to the following data: average rain day frequency (precipitation ≥ 0.1 mm) (%); warm rain day frequency (mean temperature ≥ 15 C); ten days mean temperature (C); average relative humidity (RH, %); precipitation (mm); and sunshine duration (h). The related figures are plotted according to these indices respectively, superposed with the charts of the occurring area and the seriousness of wheat powdery mildew. The results show that the distributions of five indices (ten-days rain day frequency, precipitation, average relative humidity, mean temperature, and sunshine duration.), agree well with the actual situations, so they are chosen as the zonation indices of wheat powdery mildew in China.

The dominant, the secondary and the critical indices of climatic zonation are determined by use of the hierarchical clustering analysis, which is carried out by the SPSS (Statistical Package for the Social Science) 9.0 for Windows. The data are normalized through the normal difference transformation. The

基金项目: 国家“十五”科技攻关资助项目(2001BA509B01)

收稿日期: 2001-07-15

作者简介: 霍治国(1965~)男, 河南平舆人, 研究员。主要从事气候资源利用和农业病虫、气象灾害预测、评估研究。

sampling interval is the Euclidean Distance. The method of maximum distance is adopted in the process of the hierarchical clustering analysis. Results are given in the form of decision trees. Finally, average rain day frequency and ten-days precipitation during the period of elongation-mature are chosen as the dominant indices; ten-days average relative humidity, mean temperature and sunshine duration are as the secondary indices; and the critical values of dominant indices and the secondary indices of the occurrence, sub-occurrence and nonoccurrence climatic zonations are also determined.

The region that wheat powdery mildew may occur in China is divided into occurrence zonation (I) and nonoccurrence zonation (II) through the hierarchical clustering analysis. The occurrence zonation (I) can also be divided into 10 climatic sub-zonations: South-Western frequent occurrence area of winter wheat powdery mildew (I A1), Yangtze River valley frequent occurrence area of winter wheat powdery mildew(I A2), Huaihe valley frequent occurrence area of winter wheat powdery mildew (I A3); Yellow River valley easy occurrence area of winter wheat powdery mildew (I B); Southern sub-easy occurrence area of winter wheat powdery mildew(I C1), Northern sub-easy occurrence area of spring wheat powdery mildew(I C2), Northern Xinjiang Aut. Reg. sub-easy occurrence area of spring wheat powdery mildew (I C3); Southern Tibet sub-easy occurrence area of winter and spring wheat powdery mildew (I C4); Southern occasional occurrence area of winter wheat powdery mildew(I D1), and Northern occasional occurrence area of spring wheat powdery mildew(I D2). In addition, the agroclimatic features of wheat powdery mildew occurrence and prevalence are discussed for the different climatic regions.

Key words: wheat powdery mildew; geographic distribution; climatic zonation; China; hierarchical clustering analysis

文章编号:1000-0933(2002)11-1873-09 中图分类号:S433.3 文献标识码:A

小麦生态条件的差异是不同地貌、气候、植被、土壤等因子相互耦合作用的结果;其中地形是形成小麦生态环境复杂多样的基本条件,气候是形成小麦生态环境的主导因子^[1]。由于我国地域辽阔,自然地理气候条件复杂,小麦种植形成了不同的自然生态系,是世界上小麦分布最广的国家之一。小麦生态类型与特征的形成、地域分布与布局都与气候生态条件密切相关。小麦白粉病(*Blumeria graminis*(DC.)Speer)是小麦生产中一种世界性的主要病害;从 20 世纪 70 年代起,我国小麦白粉病的发生流行经历了由点片发生到局部重发,逐步加重,全面重发,现已发展成为小麦生产中发病面积最大、危害损失最重的常发性病害^[2]。气候条件是影响小麦白粉病发生流行程度的决定因素^[3],因此地域间气候生态条件的不同造成了小麦白粉病发生流行程度的差异。

小麦白粉病地域分布的气候分区属以植物及其生态系统为研究对象的植物生态保护研究的范畴。是从作物气候生态适应性及其生态保护的角度,研究揭示我国不同小麦自然生态系统中生物灾害的地域气候分异规律、发生流行的气候生态特征,气候生态区划的指标、模型及技术方法。相关的研究有:利用历年病虫害危害资料,结合影响其发生流行的气象条件对全国小麦赤霉病、粘虫进行了气候分区^[4,5];采用模糊聚类分析方法对沂蒙山区土蝗群落进行了分区^[6];对模糊聚类分析方法在植物病害流行区域划分中的应用进行了探讨^[7]。关于小麦白粉病的分区研究,目前有少数针对本省或本地的病害发生情况进行定性的分区^[8,9];盛宝钦等^[10]依据病害的实际发生分布情况,将全国小麦白粉病的分布定性地划分为 3 个病区,即云、贵、川为小麦白粉病的病窝区。长江中下游麦区为重发区,黄淮海麦区为常发区。但目前对小麦白粉病进行定量气候分区的研究国内外尚未见报道。

本文根据小麦易感病生育期间的气象资料,结合各地白粉病历年发病率资料,采用聚类分析法对我国小麦白粉病发生地域的分布进行气候分区。为在实际生产中进行小麦白粉病分区预报,提高预测预报的时效性和准确性,为数据防治方面做到“区别对待、分类指导、有的放矢”^[11]提供科学依据。

1 研究方法

1.1 气候变化与我国小麦白粉病流行危害演变的关系

气候变化主要是通过引发我国主要麦区的降水、温度异常,影响小麦白粉病流行程度的变化;小麦易感病期 3~5 月份的降水、温度异常,厄尔尼诺事件,暖冬是影响我国小麦白粉病流行危害演变的主要气候条件^[12]。

研究表明,1975~1999 年,在厄尔尼诺出现的起始年,我国小麦白粉病发病面积相对明显偏低;在厄尔尼诺起始年至下一个厄尔尼诺起始年的前一年冬小麦白粉病发病面积趋势逐年增加,并在下一个厄尔尼诺起始年的前一年达到最大值;由此形成一个我国小麦白粉病发病面积以厄尔尼诺起始年为起点,下一个厄尔尼诺起始年的前一年为终点,总体趋势逐年增加的循环周期^[12]。小麦易感病期 3~5 月份的温度降水组合适宜于小麦白粉病发生流行的麦区面积扩大;春季前期温度偏高,病害发生期提前,为害期延长^[13]。受其影响,我国小麦白粉病的发生面积不断扩大,重发频率增加,危害程度加重^[2]。1980 年以前,全国常年发病面积一般都在 100 万 hm^2 以下,之后发病面积开始逐年扩大,1990~1991 年创历史最高记录,两年均超过 1200 万 hm^2 。近几年,无论是发生面积还是发生程度都维持在一个较高的水平。1975~1984 年 10a 间,只有 4a 中度流行,中度流行频率为 40%。1985~2000 年 16a 间,有 2a 大流行,4a 中度偏重流行,6a 中度流行;中偏重以上流行频率达到 37.5%,中等以上流行频率高达 75%。据统计^[2],1987 年以前,全国小麦因白粉病危害损失不足 2.0 亿 kg,其后迅速增大,至 1990 年全国因白粉病损失小麦 14.38 亿 kg,1991 年经过大力防治,挽回损失 21.88 亿 kg,实际仍损失小麦 7.7 亿 kg。局部严重地区一般减产 30%~50%,有些高感品种甚至颗粒无收。

暖冬有利于小麦白粉菌的安全越冬,越冬基数增加、越冬的地理范围扩大;并使原病害危害不严重的温凉气候地区危害加重^[13]。受近年来持续暖冬的影响,我国小麦白粉病发生界限逐渐北移,发病范围扩大^[2]。20 世纪 70 年代以前,白粉病一般年份仅在西南地区的云、贵、川等省的一些山区发生较重,发生程度和范围都比较小。70 年代中期以后,白粉病在西南地区的发生相继加重,在江淮麦区开始流行。1980~1981 年,白粉病在西南及江淮地区较大范围偏重流行,发生界限第一次明显北移。20 世纪 80 年代中期以后,白粉病继续向北方黄淮海区发展,其中 1985 年在西北地区甘、陕等省麦区大流行,1987 年在冀、鲁、豫及华北麦区京、津等地偏重流行。1990~1991 年全国大面积流行,范围不仅遍及江淮、黄淮等主要产麦区,而且发生界限进一步北移,波及到了辽宁、吉林和黑龙江等春麦区。从而发展成为全国 20 多个产麦省小麦生产上的重要常发病害。

1.2 影响小麦白粉病发生流行的主要气象因子

春季 3~5 月份温度降水的组合匹配情况制约着小麦白粉病的发生流行程度,其中降水是影响小麦白粉病发生流行程度的关键因素^[12],温度是影响小麦白粉菌菌源基数和侵染繁殖速率的主要因子^[3]。研究表明,5 月份气温偏低、雨量偏多、相对湿度偏大、日照少对济南地区小麦白粉病的发生发展非常有利^[14];旬雨日对白粉病的发生流行程度影响明显^[15];雨日偏多,易于发病;但雨日太多,特别是连续降雨,病株上的菌丝变褐、表面粘结,减少和延长了分生孢子的产生和传播,对病害的流行反而不利^[16];灰色系统理论分析表明,雨湿条件是影响小麦白粉病流行的主要因素^[17]。实验研究表明,在保湿条件下,白粉病分生孢子萌发的最适温度为 10~18℃;在最适温度条件下,相对湿度 0%~100% 范围内均可萌发,但湿度越大,萌发率越高;人工接种实验表明,相对湿度在 65% 以上,接种的植株才发病,而且菌丛随湿度的增高而增多^[14]。国外相关的研究也表明,温度、湿度、日照条件是影响小麦病害发生的主要环境条件^[18,19],气候变化将加剧病害的发生^[20]。

1.3 小麦白粉病气候分区因子的选择

上述研究结果表明,温度、降水、日照等气象因子或因子组合因地域不同,都会对小麦白粉病的发生流行产生不同程度的影响,为综合考虑各气象因子对白粉病发生流行的影响及其在全国范围内的适用性,利用我国冬、春麦区 120 个站点小麦主要易感白粉病期间长年代(1971~1998)气象资料,分别统计拔节—成熟、抽穗—灌浆期数据,平均 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率、平均温度 $\geq 15\text{℃}$ 暖雨日数出现机率、旬平均温度、旬平均相对湿度、旬降水量、旬日照时数,得到 12 组气象数据;并分别点绘成图,与全国各地小麦白粉病发病

面积、发病程度实况图分别相叠加。发现小麦拔节—成熟期间的多年平均 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率、旬降水量、旬平均相对湿度、旬平均温度、旬日照时数要素的分布状况与全国小麦白粉病的发病实况吻合较好,将其确定为全国小麦白粉病气候分区的指标因子。利用聚类分析方法确定分区临界指标值。

1.4 聚类分析方法

聚类分析采用统计分析软件 SPSS(Statistical Package for the Social Science)9.0 for windows 进行。其中数据标准化采用标准差标准化变换,样品间距离采用欧氏距离,聚类方法采用最长距离法,用树形图输出聚类结果。

最长距离公式为:

$$D_{ij} = \max_{\substack{k \in G_i \\ l \in G_j}} \{d_{kl}\}$$

D_{ij} 为类 G_i 与类 G_j 间的距离, d_{kl} 为第 k 个站点与第 l 个站点间的距离。

2 结果分析

2.1 气候分区指标值的确定

利用全国冬、春麦区 120 个站点小麦拔节~成熟期间的多年平均 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率、旬降水量、旬平均相对湿度、旬平均温度、旬日照时数资料和小麦白粉病发病实况资料。为简化聚类分析的样本数,依据中国小麦气候生态区划^[1],将全国 120 个代表站点按小麦的生态习性和地域分布分为南方冬麦、北方冬麦和北方春麦(包括青藏高原和北疆麦区)三大类,然后分别对其进行系统聚类分析。聚类分析结果将全国小麦白粉病的发生情况分为发生气候带(I)和不发生气候带(II),在发生气候带中,又分为常发气候亚带(IA)、易发气候亚带(IB)、次易发气候亚带(IC)、偶发气候亚带(ID)。筛选出小麦拔节—成熟期间的多年平均 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率、旬降水量为气候分区的主导指标,旬平均相对湿度、旬平均温度、旬日照时数为辅助指标,全国小麦白粉病发生地域分布的气候分区指标值见表 1。

表 1 中国小麦白粉病气候分区指标值

Table 1 Climatic indices used to define wheat powdery mildew zonation in China

发生气候带 Occurrence climatic zonation	旬 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率 Frequency of rain days of precipitation $\geq 0.1\text{mm}$ in ten days(%)	旬降雨量 Precipitation of ten days(mm)	旬平均相对湿度 Average relative humidity of ten days(%)	旬平均温度 Mean temperature of ten days (C)	旬日照时数 Sunshine hours of ten days (h)	
常发气候亚带 ^①	南方 ^⑥	20~50	10~40	50~80	13.0~17.0	30~80
	北方 ^⑦	25~30	>15	>65	16.0~19.0	60~80
易发气候亚带 ^②	北方	20~25	10~15	50~65	17.0~20.5	75~85
次易发气候亚带 ^③	南方	50~70	50~70	75~85	15.0~17.5	25~50
	北方	20~40	10~20	45~55	18.0~20.0	85~100
偶发气候亚带 ^④	南方	45~65	40~50	75~85	12.0~15.0	20~35
	北方	40~50	30~40	65~80	18.5~21.5	85~100
不发生气候带 ^⑤		<20	<10	<40	17.0~22.0	>85

①Frequent occurrence climatic sub-zonation ②Easy occurrence climatic sub-zonation ③Sub-easy occurrence climatic sub-zonation ④Occasional occurrence climatic sub-zonation ⑤Nonoccurrence climatic zonation ⑥South ⑦North

2.2 小麦白粉病地域分布的气候分区图

利用上述小麦白粉病气候分区指标和聚类分析结果,结合病害实际发生情况,对小麦白粉病进行气候分区,图 1 给出了我国小麦白粉病发生地域分布的气候分区结果,由图 1 可以看出:

(1)小麦白粉病发生气候带(I)和不发生气候带(II)界线 北起甘肃野马街,经敦煌以东、酒泉以西、张掖以南、西宁、合作、岷县、雅安、西昌以西、丽江以西、腾冲,此线以东的广大冬春麦区,为白粉病发生气候带(I);此线以西(据新疆北部部分春麦和西藏南部冬春麦区)的广大西部麦区,为白粉病不发生气候带(II)。

(2)小麦白粉病常发气候亚带(I A)界线 南部界线在南方冬麦区,自东向西大致通过杭州、天目山、黄山、庐山、岳阳、南县、石门、恩施、金佛山以北,之后又自北向南通过遵义、贵阳、百色、河口;西部界线与白粉病发生界线重合;北部界线位于北方冬麦区,自西向东大致通过岷县、平凉、渭南、华山、许昌、亳县、宿县、新浦、临沂等地。南线、西线、北线三线以内为小麦白粉病常发气候亚带(I A)。根据聚类分析结果,将该亚带划分为3个气候区 I A₁、I A₂、I A₃。三区的界线分别为,从岷县出发,经武都、南充、重庆以西、遵义以西之后向南与该亚带南线重合,此线以西为冬小麦白粉病西南常发气候区(I A₁);从岷县出发,汉中以南、安康以南、南阳以南、驻马店、阜阳、蚌埠以北、清江,此线以南为冬小麦白粉病长江流域常发气候区(I A₂);此线以北为冬小麦白粉病淮河流域常发气候区(I A₃)。

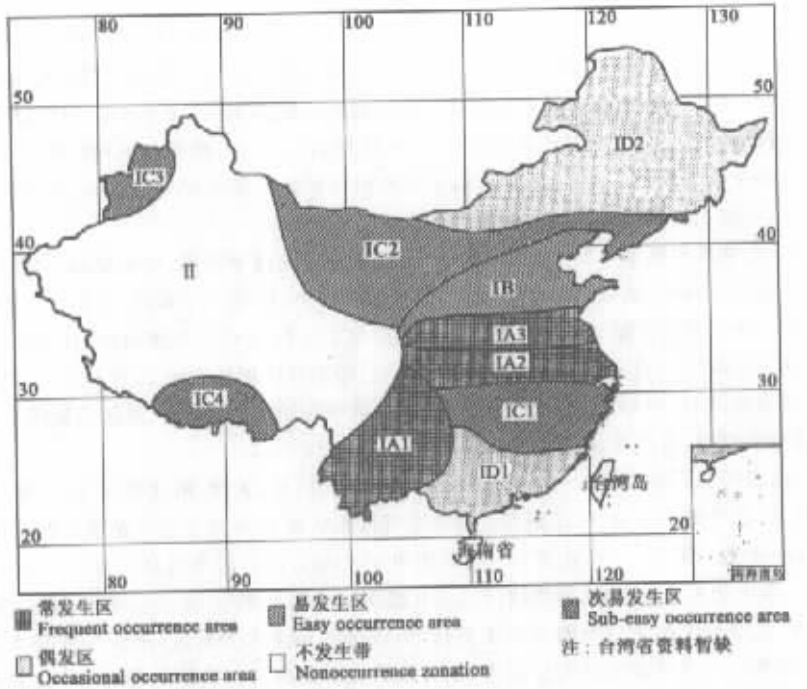


图1 中国小麦白粉病气候分区图

Fig. 1 The distribution of wheat powdery mildew in China

(3)小麦白粉病易发气候亚带(I B)界线 此带仅存在于北方麦区,北部界线自东向西大致通过大连以东、营口、朝阳、承德以南、北京以北、五台山、榆林、吴旗、固原、兰州以南、岷县;南部界线与常发气候亚带北界重合,两线之间为冬小麦白粉病易发气候亚带(I B)。该区为冬小麦白粉病黄河流域易发气候区(I B区)。

(4)小麦白粉病次易发气候亚带(I C)界线 在南方冬麦区,其南部界线自东向西大致通过福州以北、永安、赣州、衡阳、邵阳、芷江;北线与常发气候亚带的南线重合,该区为南方冬麦区白粉病次易发气候区(I C1)。在北方春麦区,其北线自东向西大致通过通化、沈阳、赤峰、多伦以南、张家口以北、呼和浩特以北、包头、海流图等;南线与白粉病易发气候亚带重合;西线与白粉病发生气候带西线重合,南、北、西三线之间为北方春麦区白粉病次易发气候区(I C2)。新疆新疆大致包括伊宁、塔城一带,为北疆春麦区白粉病次易发气候区(I C3)。西藏拉萨地区,为西藏南部冬春麦区小麦白粉病次易发气候区(I C4)。

(5)小麦白粉病偶发气候亚带(I D)界线 在南方冬麦区,白粉病次易发气候亚带以南,为南方冬麦区白粉病偶发气候区(I D1);在北方春麦区,白粉病次易发气候亚带以北为北方春麦区白粉病偶发气候区(I D2)。

3 不同小麦白粉病气候带(区)的气候生态特征

根据小麦白粉病不同气候带(区)的历年发生实况及其气候特征,结合地域间小麦的气候生态类型、熟制^[1]、发育期进程^[4],对不同气候带(区)小麦白粉病发生流行的气候生态特征评述如下。

3.1 小麦白粉病发生气候带(I)

(1)冬小麦白粉病西南常发气候区(IA1) 该区包括云南大部、贵州大部、四川南部和广西西部。属中、南亚热带湿润气候,作物一年两熟至三熟。小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为20%~50%。常年小麦抽穗~灌浆期为2月中旬至4月下旬,该期间 $\geq 15.0\text{C}$ 暖雨日出现机率为10%~20%。其温湿条件极有利于小麦白粉病的发生流行,中等以上白粉病的发生频率可达60%~70%,最高可达95%。为我国小麦白粉病发生危害的老病区。

(2)冬小麦白粉病长江流域常发气候区(IA2) 该区包括上海、江苏中南部、安徽中南部、湖北北部、河南南部、陕西南部、四川西北部等地,为小麦白粉病近年来发展起来的常发区。属亚热带湿润气候,作物一年两熟,在小麦气候生态区划上属南方冬麦区。小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为30%~50%。常年小麦抽穗~灌浆期为3月下旬至5月上旬,该期间 $\geq 15.0\text{C}$ 暖雨日出现机率为20%~30%。其温湿条件有利于小麦白粉病的发生流行,中等以上白粉病发生频率可达60%~70%。由于长江流域是我国小麦主产区之一,所以白粉病的严重流行对全国小麦产量影响很大。

(3)冬小麦白粉病淮河流域常发气候区(IA3) 该区包括陕西中东部、甘肃东部、山西南部、河南中南部、安徽北部、江苏北部等地,属亚热带半湿润、湿润过渡气候带,作物一年两熟,在小麦气候生态区划上属北方冬麦区向南方冬麦区过渡地带。小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为25%~35%。常年小麦抽穗~灌浆期为4月中旬到5月中旬,该期间 $\geq 15.0\text{C}$ 暖雨日出现机率为20%~25%。其温、湿、光照条件有利于白粉病发生流行,中等以上小麦白粉病的发生频率为60%~70%。该区为我国冬小麦主产区之一,一旦白粉病发生流行,将严重影响小麦产量。

(4)冬小麦白粉病黄河流域易发气候区(IB)。该区包括北京、天津、河北中南部、山西中南部、山东中北部、陕西中西部、宁夏南部等地,其北界与我国小麦气候生态区划中的北方冬麦区北界大致相同,属半湿润气候,是我国小麦主产区之一。小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为20%~30%。常年小麦抽穗~灌浆期为4月下旬到6月上旬,该期间 $\geq 15.0\text{C}$ 暖雨日出现机率为10%~20%。其温度、湿度和日照条件较常发气候亚带不太利于白粉病的发生流行,但该区冬小麦多为灌区,水分条件基本不成为限制因素,一旦气候条件配合有利于病害的发生发展,也会造成大面积流行。该区中等以上小麦白粉病的发生频率最高可达55%。

(5)南方冬麦区白粉病次易发气候区(IC1) 该区包括湖北南部、安徽南部、浙江北部、湖南大部、江西省、福建北部等地。属亚热带湿润气候,作物一年两熟。小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为50%~70%。常年小麦抽穗~灌浆期为4月上旬下到5月中旬,该期间 $\geq 15.0\text{C}$,暖雨日出现机率为20%~30%。由于该区降水量较多,降水集中,雨水的冲刷对白粉病的发生相对不利,中等以上小麦白粉病的发生频率为 $< 20\%$ 。

(7)北方春麦区白粉病次易发气候区(IC2) 该区包括辽宁西南部、吉林部分地区、内蒙南部及东南部、山西北部、河北北部、宁夏大部、甘肃中西部地区。属半干旱气候,作物一年两熟或两年三熟。小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为20%~40%。常年小麦抽穗~灌浆期为5月下旬到7月上旬,该期间 $\geq 15.0\text{C}$ 暖雨日出现机率为20%~30%。由于该区此期间温度高、日照充足、相对湿度低,对病害的发生不利,中等以上小麦白粉病的发生频率为 $< 10\%$ 。

(7)北疆春麦区白粉病次易发气候区(IC3)。该区包括新疆北部阿克苏、库车、库尔勒、乌鲁木齐、塔城一线以西地区。其气候生态条件主要是温度低、光照充足、降水严重缺乏。年平均温度4~6C,春小麦生育期间温度为8~16C。小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为20%~30%。常年小麦抽穗~灌浆期为6月上旬到7月上旬,该期间 $\geq 15.0\text{C}$ 暖雨日出现机率为10%~25%。由于降水少,日照充足、相对湿度低,不利于小麦白粉病的发生流行,中等以上小麦白粉病的发生频率 $< 10\%$ 。

(8)西藏南部冬春麦区白粉病次易发气候区(I C4) 该区包括拉萨、日喀则、当雄、昌都等地。其气候生态条件主要是温度低、光照充足、降水较适宜。年平均温度 0~12℃,春小麦生育期间平均气温为 11~13℃。小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为 35%~50%,旬平均降雨量为 15~35mm。其温、光、湿配合适宜的情况下,存在小麦白粉病发生流行的可能性。

(9)南方冬麦区白粉病偶发气候区(I D1) 该区包括广西大部、广东省、福建中南部、浙江南部。由于该区降水量多,降水集中,日照时数少,温、湿、光配合不利于小麦白粉病的发生流行,中等以上小麦白粉病的发生频率为 0,但偶有中等以下轻度白粉病发生。

(10)北方春麦区白粉病偶发气候区(I D2) 该区包括黑龙江、吉林、内蒙东北部、辽宁北部地区。该区虽然小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率为 40%~50%,旬降雨量达 30~40mm,但由于春旱特别严重,日照充足,中等以上小麦白粉病的发生频率为 0,仅偶有中等以下轻度白粉病发生。

3.2 小麦白粉病不发生气候带

此带包括青藏高原、四川西部、甘肃西北部、新疆大部等地的我国广大西部地区(新疆春麦区除外)。北部属中温带干旱气候类型;新疆塔里木盆地属南温带干旱气候类型;青海、西藏、川西属高原湿润或半湿润或半干旱气候类型。作物一般一年一熟。种植冬麦或春麦或兼种冬春麦。该气候带十分干燥,不能满足白粉病发生的要求,小麦拔节~成熟期间 $\geq 0.1\text{mm}$ 雨日出现机率小于 20%,为白粉病不发生气候带。

3.3 不同小麦白粉病气候区的气候生态特征表

为了更清楚地说明各小麦白粉病气候区的气候生态特征,将其列表于表 2。

表 2 各小麦白粉病气候区的气候生态特征

Table 2 Climat-ecological features of each wheat powdery mildew zonation in China

区号 No. of area	气候类型 Climatic types	作物熟制 Cropping patters	抽穗~ 灌浆期 Heading to filling	$\geq 0.1\text{mm}$ 雨 日出现机率 Frequency of rain days of precipitation $\geq 0.1\text{mm}$ (%)	旬平均 温度 Mean temperature of ten days (C)	旬降雨量 Precipitation of ten days (mm)	旬日照时数 Sunshine hours of Ten days (h)	旬平均相 对湿度 Average relative humidity of ten days (%)	中等以上病害 发生频率(%) Probability of heavier than moderate occurrence of pest disaster
I A1	热带湿润 ^①	一年两熟 ^⑨	2 月中~4 月下旬	20~50	13.0~17.5	5~30	30~90	50~80	60~70
		一年三熟 ^⑩	2.11~4.30						
I A2	亚热带 湿润 ^②	一年两熟	3 月下~5 月上旬	30~50	15.0~19.5	20~50	50~70	70~80	60~70
			3.21~5.10						
I A3	半湿润、 湿润 ^③	一年两熟	4 月中~5 月中旬	25~35	16.0~19.0	15~30	60~80	60~70	60~70
			4.11~5.20						
I B	半湿润 ^④	一年两熟	4 月下~6 月上旬	20~30	17.0~21.0	10~15	70~90	50~65	20~50
			4.21~6.10						
I C1	亚热带 湿润 ^⑤	一年两熟	4 月上~5 月中旬	50~70	14.5~18.0	50~70	20~50	75~85	<20
			4.1~5.20						
I C2	半干旱 ^⑥	一年两熟	5 月下~7 月上旬	20~40	18.5~22.0	10~30	80~100	40~60	<10
		两年三熟 ^⑪	5.21~7.10						
I C3	干旱 ^⑦	一年一熟 ^⑫	6 月上~6 月下旬	20~30	19.0~24.0	5~15	90~100	30~60	<10
			6.1~6.30						
I C4	半湿润 ^⑧	一年一熟	7 月下~8 月下	35~50	14.0~16.0	15~35	80~90	45~65	<10
			7.21~8.31						

续表 2

区号 No. of area	气候类型 Climatic types	作物熟制 Cropping patters	抽穗~ 灌浆期 Heading to filling	≥0.1mm 雨 日出现机率 Frequency of rain days of precipitation ≥0.1 mm (%)	旬平均 温度 Mean temperature of ten days (C)	旬降雨量 Precipitation of ten days (mm)	旬日照时数 Sunshine hours of Ten days (h)	旬平均相 对湿度 Average relative humidity of ten days (%)	中等以上病害 发生频率(%) Probability of heavier than moderate occurrence of pest disaster
I D1	降水量多、降水集中、日照时数少,温、光、湿配合不利于小麦白粉病发生流行			Much and intensive rainfall, few sunshine hours, plus temperature and light in cooperation with humid will make against the occurrence and prevalence of wheat powdery mildew					
I D2	春旱严重、日照充足,温、光、湿配合不利于小麦白粉病发生流行			Heavy Spring drought, abundant sunshine hours, plus temperature and light in cooperation with humid will make against the occurrence and prevalence of wheat powdery mildew.					
II	降水量少、生育期间温度低、日照充足,温、光、湿配合极不利于小麦白粉病发生流行			Little rainfall, low temperature during growing period and abundant sunshine hours, plus temperature and light in cooperation with humid will make against the occurrence and prevalence of wheat powdery mildew.					

①Tropical humid ②Subtropical humid ③Semi-humid & humid ④Semi-humid ⑤Subtropical humid ⑥Semi-arid
⑦Arid ⑧Semi-humid ⑨Double cropping a year ⑩Triple cropping a year ⑪Triple cropping two years ⑫
Single cropping a year

参考文献

- [1] Cui D C (崔读昌), Cao G C (曹广才), Zhang W (张文), et al. *Climatical ecological divisions of wheat in China* (in Chinese). Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1991. 41~45, 64~97.
- [2] Huo Z G (霍治国), Liu W C (刘万才), Shao Z R (邵振润), et al. On developing long-term meteorological prediction research of crops pests and diseases prevailing in China. *Journal of Natural Disasters* (in Chinese) (自然灾害学报), 2000, 9(1):117~121.
- [3] Liu W C (刘万才), Shao Z R (邵振润). Analysis on climatic factors for epidemiology of wheat powdery mildew in China. *Plant Protection Technology and Extension* (in Chinese) (植保技术与推广), 1998, 18(1):3~5.
- [4] Zhao S J (赵圣菊), Yao C W (姚彩文), Huo Z G (霍治国). Climatological zonation of Chinese wheat scab distribution. *Scientia Agricultura Sinica* (in Chinese) (中国农业科学), 1991, 24(1):60~66.
- [5] Zhao S J (赵圣菊). Climatological zonation of Chinese armyworm distribution. *Collected Papers of Meteorological Science and Technology* (in Chinese) (气象科学技术集刊), 1982, (3):20~25.
- [6] Sun Y D (孙运达), Sun Y C (孙运村), Sun C F (孙从法), et al. The application of fuzzy cluster analysis for differentiating the subregions of non-migratory grasshoppers in Yimeng mountainous area. *Acta Phytophylacica Sinica* (in Chinese) (植物保护学报), 1995, 22(3)231~236.
- [7] Qiang Z F (强中发). Study on zoning of plant disease epidemiology areas by fuzzy cluster analysis. *Plant Protection* (in Chinese) (植物保护), 1987, (6):16~18.
- [8] Yu D Z (喻大昭), Shi P G (石鹏皋), Yu X Z (喻小珍). System analysis and integrated control technique system of wheat powdery mildew in Hubei province. In: China society of plant protection (中国植物保护学会) ed. *Research advances on plant protection in China* (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1996. 188~191.
- [9] Lei T S (雷铁拴), Wang F D (王宏道), Li Q Z (李巧芝). Study on the epidemic regional divisions of wheat powdery mildew in Luoyang city. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* (in Chinese) (农业系统科学与综合研究), 1998, 14(2):279~282.
- [10] Sheng B Q (盛宝钦), Zhuo Y N (卓耀楠). Epidemic regularity and control countermeasure of wheat powdery mildew in China. In: China society of plant protection (中国植物保护学会) ed. *Research advances on plant protection in China* (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1996. 182~187.
- [11] Qu X F (屈西峰). Study on prediction zonation of crops pests and diseases should be accelerated. *Plant Protection*

- (in Chinese) (植物保护), 1989, (1):22~24.
- [12] Huo Z G(霍治国), Ye C L(叶彩玲), Qian S(钱拴), *et al.* The relationship between the climatic anomaly and the prevailing of the wheat powdery mildew in China. *Journal of Natural Disasters* (in Chinese) (自然灾害学报), 2002, **11**(2):85~90.
- [13] Xu X D(徐祥德), Wang F T(王馥棠), Xiao Y S(萧永生) ed. *Adjustment and control engineering and technology system for preventing agriculture meteorology disasters* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2002. 277~283.
- [14] Liu X K(刘孝坤). Research advances on wheat powdery mildew in China. *Study on Information of Agriculture and Livestock* (in Chinese) (农牧情报研究), 1989, (3):1~10.
- [15] Liu Q J(刘泉姣), Tang Y L(唐玉兰), Zhang B S(张伯松), *et al.* Study on epidemic factor and control of wheat powdery mildew. *Agriculture Science of Shandong Province* (in Chinese) (山东农业科学), 1992, (6):19~22.
- [16] Wang H J(王贺军), Zhang S M(张书敏), Zhang Y K(张彦坤), *et al.* Prediction technology of epidemic trends of wheat powdery mildew. *Forecasts of Plant Pest and Disease* (in Chinese) (病虫测报), 1990, (2):6~9.
- [17] Li R S(李荣生), Yuan Y F(袁玉付), Wu C Q(吴彩全). Preliminary study on climatic index of occurrence and prediction of powdery mildew of different species of wheat. *Plant Protection* (in Chinese) (植物保护), 1993(2):2~4.
- [18] Daamen RA. Surveys of cereal diseases and pests in the Netherlands. Weather and winter wheat cropping during 1974~1986. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 1990, **96**(4): 227~236.
- [19] Stangelberger J. Report on meteorological conditions and remarkable occurrences of pests and diseases of cultivated plants in Austria in the year 1987. *Pflanzenschutzberichte*, 1988, **49**(2): 87~95.
- [20] Hardwick NV, Armstrong AC, Ellis SA, *et al.* The impact of climate change on crop pests and diseases. Implications of "Global Environmental Change" for Crops in Europe, Cambridge, UK, 1~3 April, 1996. *Aspects-of-Applied-Biology*. 1996, No. **45**, 261~268.

